

MATEMATIKA MORFOLOGI UNTUK SEGMENTASI DAN ANALISIS CITRA

M. Syamsa Ardisasmita

Pusat Pengembangan Teknologi Informatika dan Komputasi
BATAN Kawasan PUSPIITEK Serpong 15310
E-mail: syamsa@batan.go.id; syamsa@ccntrin.ncti.id

Abstrak

Matematika morfologi adalah suatu metoda untuk mendapatkan informasi struktur geometri suatu citra obyek dengan melakukan transformasi dengan suatu elemen penstruktur yaitu obyek yang bentuk dan ukurannya lebih sederhana. Transformasi morfologi didasarkan pada operasi penambahan dan pengurangan Minkowski, ternyata memberikan suatu jenis filter baru yang tidak linier yang disebut dengan filter bentuk yang sangat cocok digunakan untuk analisis struktur dibandingkan dengan filter linier yang umum digunakan. Segmentasi citra dengan metoda matematika morfologi didasarkan pada transformasi homotopi dan garis batas air seperti pada permukaan topografi ternyata teknik ini dapat menyelesaikan masalah segmentasi citra multifasa yang sulit dilakukan menggunakan metoda konvensional. Perangkaian morfologi dan pemisahan garis air adalah metoda baru segmentasi citra terutama untuk pengenalan obyek pada penglihatan otomatis menggunakan komputer. Dalam makalah ini, kami akan menunjukkan bagaimana filter-filter morfologi dapat digunakan untuk menghasilkan algoritma-algoritma sistematis untuk tugas-tugas pengolahan dan segmentasi citra yang memberikan hasil berbeda seperti penfilteran citra, penghilangan derau, pengisian lubang, penghalusan bentuk, perangkaian dan pemisahan garis batas air.

Kata Kunci: mathematical morphology, morphological skeleton, watershed segmentation

1. Pendahuluan

Matematika morfologi merupakan disiplin ilmu yang relatif baru dengan aplikasinya yang sudah meluas dalam bidang ilmu bahan, biologi, pencitraan medis, penginderaan jauh, penglihatan robot dan evaluasi untuk pemeriksaan yang tidak merusak. Metoda matematika morfologi diperkenalkan pertama kali pada tahun 1964 oleh G. Matheron dan J. Serra di Sekolah Pertambangan Nasional Perancis dalam rangka penelitian ilmu bahan di bidang perminyakan. Disiplin ilmu ini mulai dikenal secara luas di masyarakat pengolah citra internasional yaitu setelah diterbitkannya buku "*Image Analysis and Mathematical Morphology*" oleh J. Serra pada tahun 1982. Kemudian pada tahun 1993 dibentuk *The International Society for Mathematical Morphology* dan oleh organisasi internasional rekayasa optik SPIE, matematika morfologi menjadi salah satu topik yang diseminarkan pada setiap konferensi tahunan mereka.

Bagi ahli matematika, matematika morfologi merupakan bagian dari teori kisi (*lattice theory*) dimana obyek-obyek sebagai persepsi visual digambarkan dalam bentuk *kerangka kerja* (framework) kisi tersebut. Teknik pengenalan bentuk didasarkan pada teori himpunan dengan pemetaan dan transformasi kisi, baik itu berupa citra biner maupun citra tingkat keabuan. Sedangkan ahli ilmu pengetahuan alam menganggap matematika morfologi sebagai himpunan alat yang mampu menggambarkan kerangka acuan geometri dari suatu studi fenomena yang terjadi. Perkembangan matematika morfologi ditunjukkan oleh fakta bahwa metodologi ini telah berkembang dalam tiga arah: pertama aspek teoritis yaitu penambahan metoda matematika baru, kedua aspek praktis termasuk pengembangan perangkat lunak dan perangkat keras, dan ketiga aplikasi-aplikasi dari matematika morfologi semakin banyak dan meluas dalam berbagai domain.

Selama ini untuk representasi karakteristik citra digital dipergunakan teori dasar matematika pemodelan otoregresif dan transformasi ortogonal seperti transformasi Fourier atau transformasi Karhunen-Loève. Kedua transformasi ini memberikan informasi struktur aljabar dari sinyal atau spektrum energi citra secara global tetapi tidak memberikan informasi bentuk atau morfologi obyek

secara individual. Sedangkan pola-pola citra sebagai bentuk sinyal dua dimensi membutuhkan representasi analisis struktur geometri daripada struktur aljabar dalam bentuk komponen-komponen frekuensi spasial. Prinsip dasar dari matematika morfologi adalah penggunaan elemen penstruktur (*structuring element*) yaitu bentuk dasar dari suatu obyek yang digunakan untuk menganalisis struktur geometri dari obyek lain yang lebih besar dan kompleks. Tujuannya adalah untuk memperoleh informasi mengenai bentuk dari suatu citra dengan mengatur bentuk dan ukuran suatu elemen penstruktur. Matematika morfologi dapat menggali informasi mengenai struktur geometri dari suatu citra obyek dengan mentransformasikan citra obyek tersebut melalui interaksinya dengan elemen penstruktur. Dengan mentransformasikan citra obyek menggunakan elemen penstruktur yang berbeda-beda, dapat diperoleh informasi berhubungan dengan ukuran, distribusi spasial, bentuk, konektivitas, kehalusan, dan orientasi dari obyek-obyek tersebut.

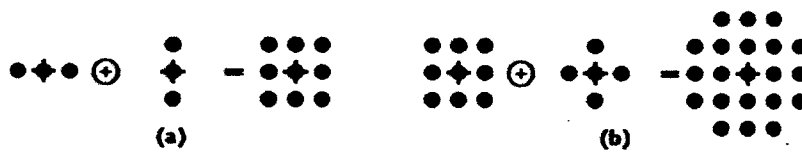
Matematika morfologi memungkinkan dilakukannya filter berdasarkan bentuk obyek atau disebut dengan filter morfologi. Perkembangannya kemudian meluas untuk segmentasi citra dengan transformasi homotopik dan jarak geodesi. Penipisan homotopik dapat merepresentasikan citra biner dalam bentuk dasarnya dimana obyek diurai menjadi himpunan bagian terkecil yang merupakan rangka dari obyek tersebut (*morphological skeleton*). Rangka obyek ini akan dapat memberikan informasi bentuk dasar, dinamika pertumbuhan dan perubahan posisi relatif terhadap acuan. Dalam operasi perangkaan ini dibutuhkan transformasi homotopi yaitu tetap menjaga konektivitas atau antar hubung dari komponen-komponen yang ditipiskan sehingga dapat mencerminkan alur-alur bentuk pada citra. Perangkaan morfologi ini dapat menyimpulkan karakteristik obyek secara individual berhubungan dengan bentuk, ukuran, arah dan antar hubung dari obyek. Pengembangan metoda garis pembatas air (*watershed*) dapat memecahkan masalah segmentasi citra yaitu untuk mendeteksi kontour citra multifasa yang memiliki nilai-nilai digital tingkat permukaan yang tidak homogen yang sebelumnya sulit untuk dapat dipecahkan dengan metoda konvensional.

Aplikasi matematika morfologi untuk pengolahan, analisis dan interpretasi citra sudah sangat meluas baik itu dalam bidang ilmu bahan, biologi, maupun untuk aplikasi industri. Keberhasilan metoda ini terutama kemampuannya dalam menganalisis bentuk atau struktur geometri obyek-obyek. Dengan menggunakan filter morfologi, obyek-obyek dapat diidentifikasi dan di klasifikasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan bentuk obyek tersebut. Ini merupakan kemampuan pengenalan bentuk (*form recognition*) yang sangat penting pada komputer vision dan robotik. Pada makalah ini akan dijelaskan aplikasi matematika morfologi dalam industri yaitu pemisahan potongan-potongan kecil obyek, dalam biologi untuk mengekstrasi dan memisahkan sel-sel darah dan dalam ilmu bahan untuk menentukan kontour bahan multifasa. Dengan contoh-contoh tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran peranan matematika morfologi untuk analisis dan segmentasi citra digital.

2. Teori Dasar Matematika Morfologi

Matematika morfologi merepresentasikan citra obyek dua dimensi sebagai suatu himpunan matematika dalam ruang Euclidean E , dimana dapat berupa ruang kontinyu R^2 atau ruang diskrit Z^2 . Untuk memudahkan pemahaman transformasi morfologi maka kita gunakan citra biner yang merupakan penyederhanaan dari citra dalam tingkat keabuan (*gray-tone*). Misal citra biner digambarkan sebagai suatu himpunan titik-titik gambar atau *pixels* (*picture elements*) dalam bidang biner Z^2 , yang sebagian terisi oleh satu himpunan A dari titik-titik yang membentuk obyek. Penambahan Minkowski himpunan A dengan himpunan B dinyatakan dengan $A \oplus B$ yaitu seluruh titik-titik c yang merupakan persamaan penambahan vektor aljabar $c = a + b$, dimana vektor-vektor a dan b masing-masing merupakan anggota dari himpunan A dan B . Jika $A_b = \{a + b : a \in A\}$ menyatakan translasi dari himpunan A oleh suatu vektor b , maka penjumlahan Minkowski dari A dan B dimana vektor b menyapu himpunan A adalah:

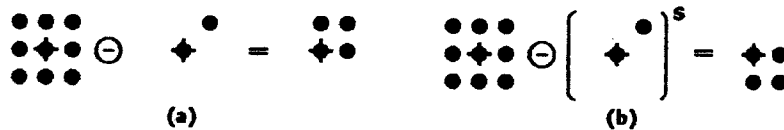
$$A \oplus B = \{a + b : a \in A, b \in B\} = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (1)$$



Gambar 1. Perbesaran Himpunan sebagai Hasil Penambahan Minkowski pada Himpunan Titik-Titik

Sedangkan pengurangan Minkowski dinyatakan dengan $A \ominus B$ yaitu merupakan hasil komplementasi operasi penambahan Minkowski dari komplemen A terhadap B :

$$A \ominus B = (A^c \oplus B)^c \quad (2)$$

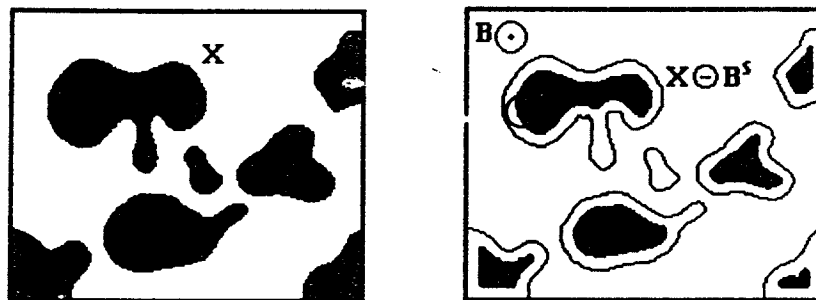


Gambar. 2 Transformasi Himpunan dengan: (a) Pengurangan Minkowski, (b) Erosi

Jika sebagai elemen penstruktur adalah sebuah piringan B dengan jari-jari r dan titik pusat pada a. Transformasi dengan operasi erosi dilakukan dengan menyapu himpunan X oleh piringan B, yang didefinisikan sebagai :

$$Y = X \ominus B^s = \{x \in Z^2 : B_x \subseteq A\} \quad (3)$$

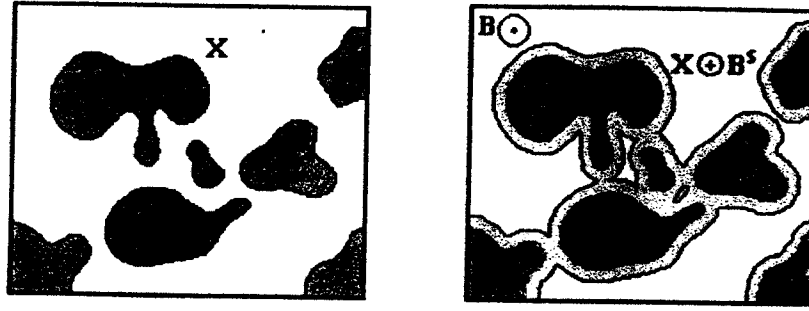
Disini dilakukan operasi pengurangan Minkowski himpunan X oleh elemen penstruktur B. B^s adalah himpunan simetris dari B terhadap titik asal dan B^s diperoleh dengan cara memutar B sebesar 180° . Hasil erosi X oleh B adalah himpunan posisi titik pusat piringan yang masuk kedalam struktur obyek yaitu himpunan baru Y.



Gambar 3. Himpunan Obyek-Obyek X dan Erosi Himpunan X oleh Elemen Penstruktur B

Transformasi dengan dilatasi dilakukan dengan cara sama, yaitu dengan menyapu elemen penstruktur B pada seluruh himpunan X, yang didefinisikan dengan :

$$Y = X \oplus B^s = \{x \in Z^2 : B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (4)$$



Gambar 4. Himpunan Obyek-Obyek X dan Dilatasi Himpunan X oleh Elemen Penstruktur B

Himpunan baru Y adalah himpunan titik pusat piringan yang ada pada X atau yang bersentuhan dengan X.

Filter Morfologi

Transformasi dengan erosi saja atau dengan dilatasi saja tidak menghasilkan suatu filter morfologi, tetapi kombinasi dari dua operasi ini yang melahirkan jenis filter baru yang sensitif terhadap struktur geometri. Karena erosi dan dilatasi itu merupakan suatu transformasi yang berulang, maka pada himpunan X dapat dierosi dengan suatu elemen penstruktur B, kemudian hasil erosi tersebut di dilatasi dengan elemen penstruktur yang sama. Ini yang disebut dengan operasi pembukaan (*opening*) yang didefinisikan dengan

$$X^B = (X \ominus B^s) \oplus B \quad (5)$$

Hasil filter citra biner oleh suatu transformasi pembukaan dinyatakan sebagai himpunan X^B yang umumnya tidak sama dengan himpunan X mula-mula terlihat dapat menghilangkan partikel-partikel parasit, menghaluskan bentuk dan menghilangkan lancip-lancip pada tepi obyek.

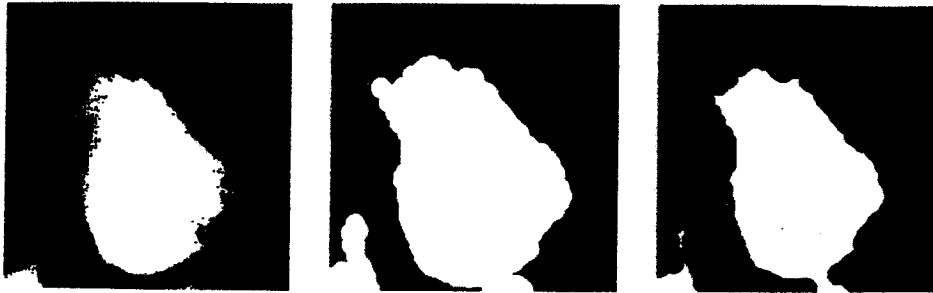


Gambar 5. Transformasi Pembukaan Dimulai dengan Erosi kemudian Dilatasi

Sebaliknya apabila himpunan X di dilatasi dahulu dengan suatu elemen penstruktur B dan hasil dilatasi tersebut kemudian di erosi dengan elemen penstruktur yang sama, transformasi ini disebut penutupan (*closing*) yang didefinisikan dengan :

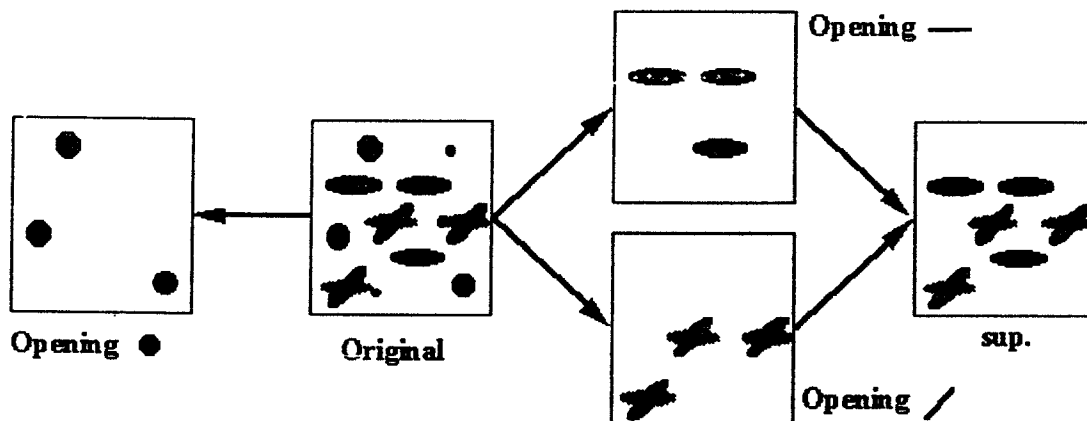
$$X_B = (X \oplus B^s) \ominus B \quad (6)$$

Transformasi dengan penutupan menghasilkan himpunan X_B yang umumnya berbeda dengan himpunan X awal yang memungkinkan terjadinya penutupan lubang-lubang kecil dan penggabungan sel-sel yang berdekatan selain untuk menghaluskan bentuk. Ukuran filter disini ditentukan oleh besar jari-jari dari elemen penstruktur yang berupa piringan. Untuk penfilteran dapat dilakukan kombinasi dari erosi dan dilatasi secara berurutan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.



Gambar 6. Transformasi Penutupan Dimulai dengan Dilatasi kemudian Erosi

Sup (*Supremum*) pada citra biner adalah operasi penggabungan (*union*) himpunan-himpunan biner, sedangkan pada citra tingkat keabuan Sup adalah nilai-nilai digital tertinggi dari titik-demi titik yang membentuk citra. Setiap kelompok citra mempunyai *supremum* karena terdapat pada kisi-kisi yang lengkap. Inf (*infimum*) pada citra biner adalah operasi interseksi himpunan-himpunan biner, demikian juga pada citra tingkat keabuan inf adalah nilai-nilai digital terendah dari titik-titik pembentuk citra yang disuperposisikan.



Gambar 7. Penggunaan Beberapa Pembukaan Morfologi untuk Menyeleksi Bentuk

Filter morfologi sangat efektif digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasi bentuk struktur geometri obyek dengan transformasi pembukaan menggunakan berbagai bentuk elemen penstruktur. Kemampuan ini sangat besar manfaatnya pada aplikasi penglihatan otomatis menggunakan komputer yaitu untuk pengenalan obyek. Gambar 7 memperlihatkan penggunaan beberapa elemen penstruktur untuk memisahkan bentuk-bentuk obyek dan kemudian menggabungkan beberapa obyek yang diperlukan.

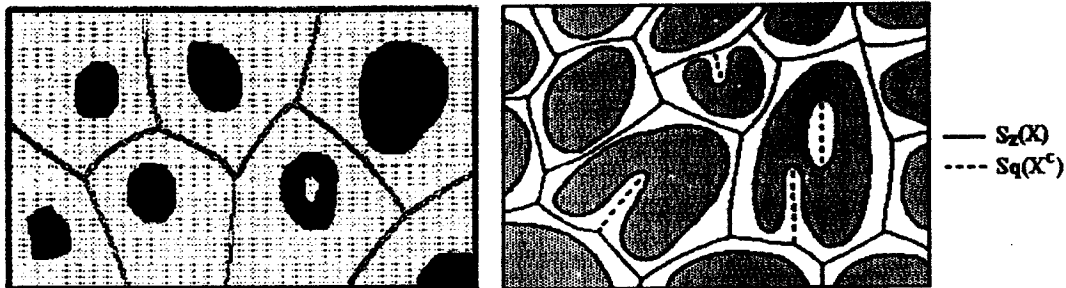
Skiz daerah batas pengaruh

Skiz atau perangkaan luar daerah batas pengaruh adalah penipisan yang dilakukan pada latar belakang citra biner untuk memperoleh garis pemisah antara obyek-obyek. Teknik ini sangat berguna dalam memisahkan obyek-obyek yang batasnya tidak jelas atau ada daerah pemisah yang cukup besar. Jika X adalah himpunan partikel-partikel obyek, maka daerah batas pengaruh dinyatakan sebagai:

$$Y_i = \cup [y : d(y, x_i) < d(y, x_j) , j \neq i] \quad (7)$$

Untuk setiap partikel X_i akan terbentuk daerah batas pengaruh Y_i , dimana setiap kumpulan titik y yang membentuk Y_i akan lebih dekat pada X_i dibandingkan partikel-partikel lainnya X_j . Skiz dari X didefinisikan sebagai komplemen dari union setiap Y_i (daerah batas pengaruh), yaitu :

$$Sz(X) = [\cup_i (Y_i)]^c \quad (8)$$

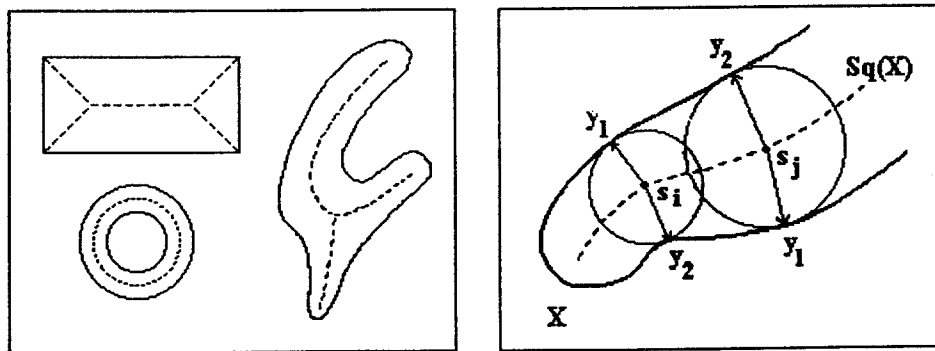


Gambar 8. Skiz dari Himpunan Sel-Sel

Kita dapat lihat pada Gambar 8 bahwa skiz akan membagi dua daerah batas antara dua partikel yang berdekatan. Selain itu skiz merupakan himpunan bagian dari rangka luar : $Sz(X) \subset Sq(X^c)$.

Perangkaian morfologi

Rangka adalah kumpulan titik-titik yang mempunyai jarak yang sama terhadap batas obyek, jika obyek dibatasi oleh dua lingkaran berupa donat maka rangka merupakan lingkaran antara kedua lingkaran tersebut. Sedang jika obyek berupa kotak maka seperti amplop maka rangkanya merupakan garis-garis diagonal dan vertikal antara batas amplop. (lihat gambar 9).



Gambar 9. Contoh Perangkaian Berbagai Obyek dan Ilustrasi Definisi Perangkaian

Misal himpunan X dan himpunan titik-titik batasnya ∂X , suatu titik s dari X adalah bagian dari rangka X , disebut $Sq(X)$, apabila jarak eucliden dari s ke ∂X mencapai dua titik berbeda y_1 dan y_2 yang berjarak sama dari s :

$$s \in Sq(X) \Leftrightarrow \exists y_1, y_2 \in \partial X, y_1 \neq y_2 \text{ dimana : } d(s, \partial X) = d(s, y_1) = d(s, y_2) \quad (9)$$

Penipisan dan Penebalan Homotopik

Transformasi ketetanggaan memungkinkan realisasi dua transformasi baru yang disebut: penipisan dan penebalan. Penipisan dari himpunan X adalah penghapusan titik-titik sesuai dengan konfigurasi ketetanggaan yang diberikan, sedangkan penebalan himpunan X menambahkan titik-titik sesuai konfigurasi ketetanggaan yang diberikan. Misal jika kita ambil elemen penstruktur dalam bentuk heksagonal, yang terdiri dari 7 titik-titik dasar penyusun elemen tersebut, maka akan diperoleh 2^7 konfigurasi yang mungkin. Jika kita ambil segi empat yang terdiri dari sembilan titik sebagai elemen penstruktur akan diperoleh 2^9 konfigurasi yang mungkin. Jika X adalah himpunan titik-titik pada citra biner dan p adalah suatu titik pada matriks citra, kita sebut $V_p(X)$ suatu konfigurasi ketetanggaan dari famili V yang berpusat di titik p . Transformasi ketetanggaan oleh famili V akan memberikan nilai 1 pada titik p jika setiap titik-titik sekitar p sesuai dengan konfigurasi dari famili ketetanggaan tersebut.

$$X \otimes V_p(X) = \begin{cases} 1 & \text{jika } V_p(X) \in V \\ 0 & \text{jika } V_p(X) \notin V \end{cases} \quad (10)$$

Transformasi homotopik dinyatakan sebagai produksi operasi X dengan sejumlah konfigurasi dari famili ketetanggaan V yang dinyatakan dengan :

$$X \otimes V = ((\dots(((X \ominus V^1) \ominus V^2) \ominus V^3) \ominus V^4) \dots \ominus V^{n-1}) \ominus V^n) \quad (11)$$

Konfigurasi dari V dinyatakan dalam alphabet Golay antara lain famili L , M , D dan H .

Untuk mempertahankan konektivitas rangka obyek harus dilakukan perangkaan homotopi dengan operasi penipisan dengan transformasi ketetanggaan konfigurasi L atau M . Biasanya digunakan konfigurasi L yang memberikan hasil perangkaan homotopi yang baik, sedang konfigurasi M jarang dipergunakan karena memberi banyak cabang-cabang parasit.

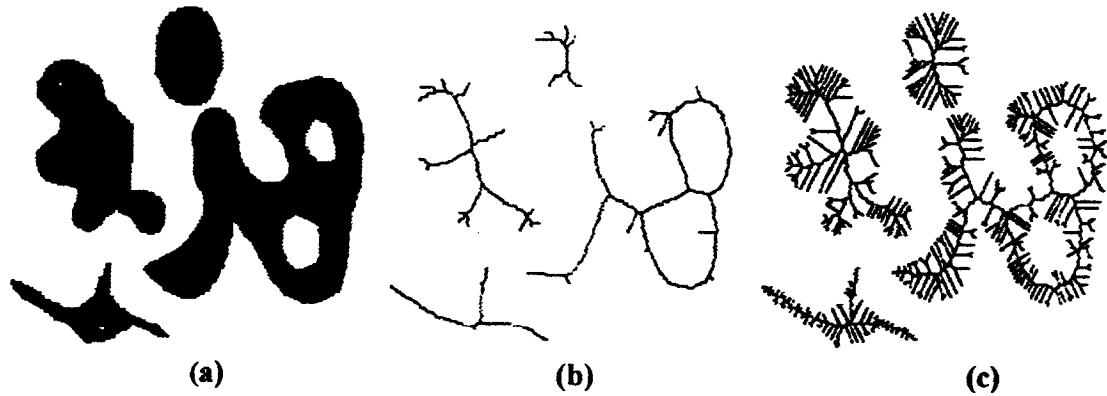
Jika elemen penstruktur adalah suatu heksagonal, maka penipisan homotopik menurut urutan L_6 dinyatakan sebagai :

$$X \otimes L = ((((((X \otimes \theta^0 L) \otimes \theta^1 L) \otimes \theta^2 L) \otimes \theta^3 L) \otimes \theta^4 L) \otimes \theta^5 L) \quad (12)$$

dengan konfigurasi L_6 dinyatakan sebagai :

$$\begin{array}{cccccccc} 0 & \bullet & & \bullet & 1 & & 1 & 1 & & 1 & \bullet & & \bullet & 0 & & 0 & 0 \\ \theta^0 L = 0 & 1 & 1 & , \theta^1 L = 0 & 1 & 1 & , \theta^2 L = \bullet & 1 & \bullet & , \theta^3 L = 1 & 1 & 0 & , \theta^4 L = 1 & 1 & 0 & , \theta^5 L = \bullet & 1 & \bullet \\ & \bullet & 1 & & 0 & \bullet & & 0 & 0 & & \bullet & 0 & & 1 & \bullet & & 1 & 1 \end{array}$$

Ketetanggaan titik-titik konfigurasi L disini terdiri atas 2 titik logika nol dan 3 titik logika satu, dengan titik pusatnya berlogika satu. Sedangkan lokasi titik dengan tanda \bullet tidak berpengaruh apa-apa terhadap transformasi. Penipisan dapat dilakukan berkali-kali dan penipisan maksimal dari suatu obyek akan menghasilkan suatu garis atau titik yang bersambungan.



Gambar 10. (a) Citra Awal, (b) Perangkaan Homotopi Famili L_6 , (c) Perangkaan Homotopi Famili M_6

Gambar 10 memperlihatkan citra obyek dan hasil perangkaan dengan metoda berbeda. Transformasi penipisan dengan konfigurasi famili L_6 menghasilkan perangkaan obyek yang homotopi sesuai dengan bentuk alur citra obyek. Sedangkan penipisan dengan konfigurasi M_6 walaupun menghasilkan perangkaan homotopi tetapi memberikan jumlah cabang-cabang lebih banyak dan merupakan parasit pada citra.

Segmentasi dengan Garis Watershed

Pemisahan citra obyek-obyek yang saling bersentuhan secara otomatis adalah teknik yang paling sulit. Disini dapat kita lihat bagaimana matematika morfologi mampu memisahkan sel-sel atau partikel-partikel yang saling bertumpang tindih. Prinsipnya adalah menentukan titik-titik dasar (*ultimate erode*) dari tiap-tiap obyek, kemudian merekonstruksikannya kembali dengan menyisipkan garis pemisah antar obyek yang bersentuhan dengan operasi penebalan terkondisi dari titik-titik dasar tersebut (algoritma Jernot).

Misalnya X adalah himpunan obyek-obyek dimana terdapat obyek-obyek yang saling bersentuhan, maka untuk tiap obyek dicari dahulu titik-titik dasarnya melalui operasi erosi secara berurutan sebanyak i kali:

$$X_i = X \ominus {}_i B \quad (13)$$

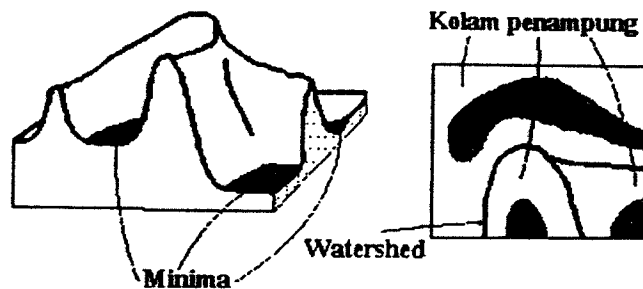
dimana X_i adalah erosi X oleh i kali B , sehingga diperoleh titik-titik dasar minimum yang lebih kecil dari B . Setelah titik-titik dasar diperoleh kemudian ditentukan *ultimate erode* U dari obyek-obyek tersebut

$$U_i = X_i - [(X_{i+1} \oplus B) \cup X_i]_{\infty} \quad (14)$$

Kemudian obyek-obyek yang saling bersentuhan akan terkonstruksi secara tahap demi tahap dalam himpunan Y_i dengan menggunakan teknik penebalan homotopik dengan menggunakan elemen penstruktur tipe M_6^c yang dinyatakan dalam persamaan

$$Y_i = [(Y_{i+1} \cap U_i) \oplus M_6^c] \cup X_i \quad (15)$$

yang akan merekonstruksi obyek dengan memberikan garis pemisah pada obyek-obyek yang bersentuhan.

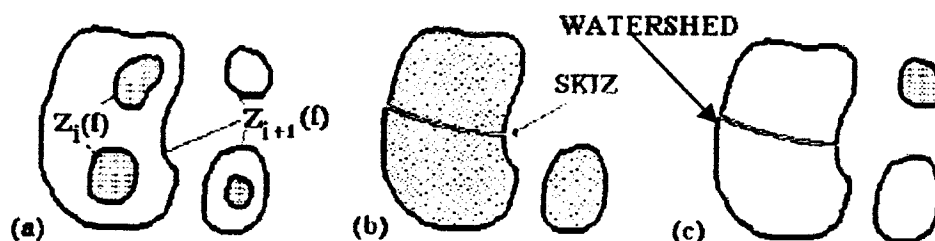


Gambar 11. Segmentasi dengan Garis Pembatas Air dan Kolam Penampung

Pendekatan lain dari segmentasi watershed adalah dengan prinsip bahwa citra tingkat keabuan dapat dianggap sebagai permukaan topografi. Jika kita banjir permukaan ini dari lembah-lembahnya (minima) maka kita dapat membagi citra kedalam dua himpunan berbeda yaitu: kolam-kolam penampung dan garis-garis pembatas aliran air. Jika kita menerapkan transformasi ini pada gradian citra, kolam-kolam penampung secara teoritis berhubungan dengan daerah-daerah dengan tingkat keabuan yang homogen pada citra.

Jika f adalah fungsi nilai digital pada citra dan $Z_i(f)$ adalah himpunan titik-titik x dengan nilai digital yang lebih rendah atau sama dengan i :

$$Z_i(f) = \{x : f(x) \leq i\} = Y_i^{\circ}(f) \quad (16)$$



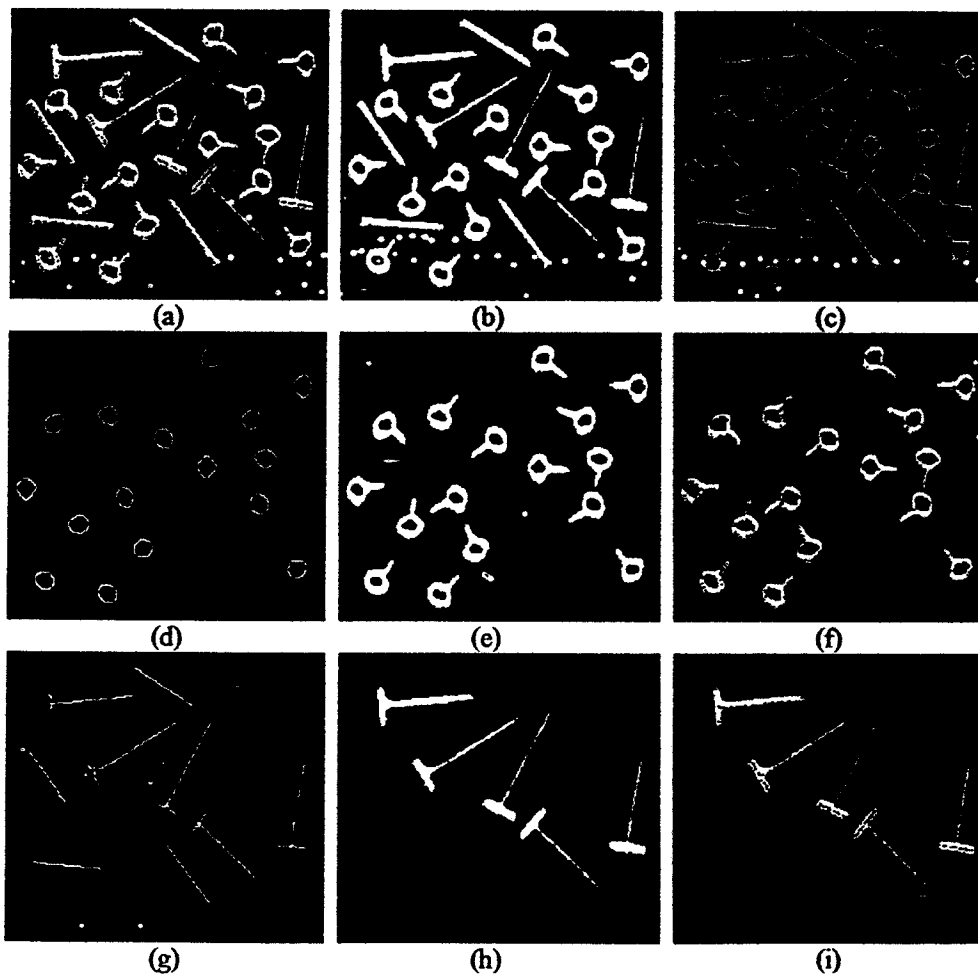
Gambar 12. Proses Pemisahan Garis Batas Air: (a) Penentuan Penunjuk, (b) Pemisahan dengan Skiz Geodesi, (c) Terbentuk Watershed dan Menambah Minima pada Tingkat Tersebut

Misalnya nilai terendah i_0 berhubungan dengan ambang $Z_0(f)$, maka akan terbentuk komponen-komponen yang akan membentuk daerah-daerah minimum f sebagai kolam-kolam penampung yang akan dijadikan sebagai penunjuk. Dengan menggunakan penunjuk dan menentukan kriteria segmentasi misalnya kontras atau gradian citra, maka dapat dilakukan fungsi pemisahan dengan Skiz geodesi yaitu menentukan batas luar dari segmen-segmen penunjuk, kemudian dilakukan penipisan homotopik sehingga menghasilkan perangkaan yang disebut dengan garis batas air.

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagai suatu kerangka kerja untuk menggali informasi dari suatu citra, maka matematika morfologi mempunyai aplikasi yang sangat luas dalam komputer vision. Misalnya untuk mengklasifikasikan bentuk obyek-obyek dua dimensi dalam aplikasi industri. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi ciri-ciri morfologi dari obyek-obyek berupa: ring berlubang, pin berbentuk T, dan paku memanjang. Sebagai masukan adalah citra tingkat keabuan yang biasa digunakan pada kamera otomatisasi industri. Prosedur yang digunakan untuk mendeteksi ketiga kelas obyek tersebut adalah berbasis pada transformasi penebalan, penipisan dan rekonstruksi. Gambar 13 memperlihatkan tahapan-tahapan dalam pengenalan bentuk. Setelah binarisasi citra maka dilakukan filter morfologi dengan penebalan dan penipisan homotopik untuk mengurangi derau pada contour sehingga diperoleh citra terfilter (gambar 13.b).

Langkah kemudian adalah penipisan homotopik untuk memperoleh rangka morfologi citra obyek-obyek (gambar 13.c). Garis-garis terbuka pada rangka yang berhubungan dengan pin-T dan paku, dipangkas dengan penipisan titik akhir, sehingga komponen-komponen rangka yang tersisa adalah lingkaran-lingkaran yang merupakan rangka garis tanpa titik-titik akhir. Lingkaran-lingkaran tersebut akan menjadi penunjuk obyek-obyek melingkar (gambar 13.d). Ekstraksi bentuk ring dilakukan dengan rekonstruksi citra melalui penebalan citra rangka yang dikondisikan dengan citra terfilter (gambar 13.e). Rekonstruksi citra ring dalam tingkat keabuan diperoleh dengan mempertemukan citra rekonstruksi biner dengan citra awal (gambar 13.f). Dengan mempertemukan citra hasil rekonstruksi dengan citra rangka obyek mula-mula maka kita peroleh citra rangka obyek tanpa ring. Dengan menghilangkan 20 titik-titik akhir maka akan terdeteksi titik-titik simpang tiga pada rangka pin-T yang menjadi penunjuk untuk rekonstruksi (gambar 13.g). Dari titik penunjuk maka citra biner pin T dapat direkonstruksi (gambar 13.h). Dengan mengkondisikan citra biner dengan citra awal akan diperoleh ekstraksi dari citra obyek pin-T.

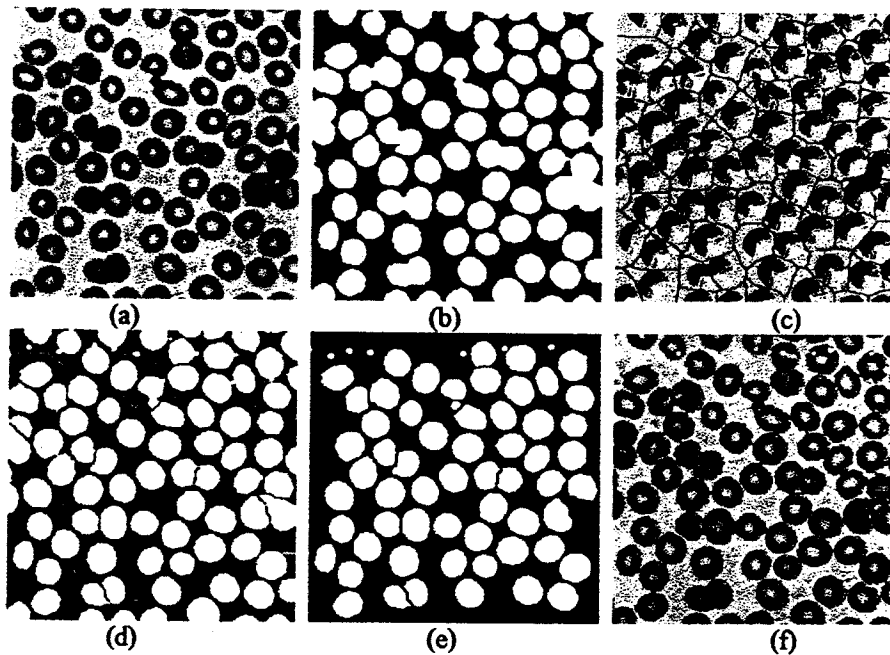


Gambar 13. Pengenalan Bentuk Obyek: (a) Citra Awal, (b) Citra Biner Ditebalkan, (c) Citra Rangka (d) Rangka Tanpa Titik-Titik Akhir, (e) Rekonstruksi Citra Ring, (f) Citra Ring, (g) Deteksi Titik-Titik Simpang Tiga Rangka, (h) Rekonstruksi Citra Pin-T, (i) Citra Pin-T

Pembahasan kedua adalah aplikasi metoda matematika morfologi dalam bidang biologi yaitu untuk mengekstraksi sel-sel darah dan kemudian memisahkannya. Citra mikroskopik tingkat keabuan yang berisi sel-sel darah disegmentasi dan kemudian diproses untuk memisahkan sel-sel yang bertindihan. Prosedur segmentasi didasarkan batas ambang (*threshold*) dan filter morfologi, sedangkan prosedur pemisahan sel-sel didasarkan pada pendekatan *watershed*. Citra mikroskopik sel-sel darah dalam tingkat keabuan dibaca untuk diproses (gambar 14.a). Kemudian dilakukan binarisasi dengan

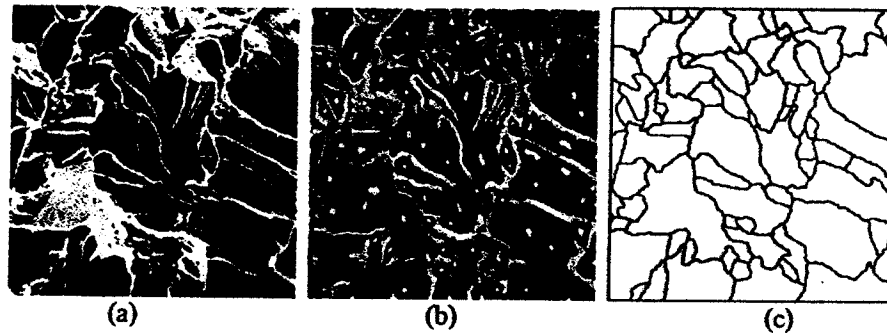
ambang tingkat keabuan dan filter morfologi dengan operasi pembukaan untuk menghaluskan bentuk sel dari derau (gambar 14.b). Titik-titik penunjuk tiap sel dipeoleh dengan dilatasi daerah maksimum dan daerah permukaan topografi yang menyatakan jarak transformasi. Garis batas antara titik-titik penunjuk sel memberikan garis-garis batas luar yang disebut Skiz geodesik.

Garis pemisah sel-sel yang bersentuhan dapat diperoleh dengan mengurangi citra biner terfilter dengan garis skiz geodesik (gambar 14.d). Demikian juga untuk memperoleh bentuk sel-sel secara utuh dilakukan penghapusan sel-sel yang terpotong oleh batas citra (gambar 14.e) yaitu dengan merekonstruksi batas citra dan sel-sel yang menempel atau terpotong di batas tersebut. kontour pembatas sel dapat diperoleh dengan transformasi dilatasi dan subtraksi. Kemudian kontour tersebut dapat disuperposisikan ke citra tingkat keabuan awal untuk memperoleh segmentasi sel-sel darah.



Gambar 14. Proses Ekstraksi Sel-Sel Darah dan Memisahkannya

Aplikasi matematika morfologi dalam ilmu bahan cukup banyak. Misalnya dalam mikrografi yaitu untuk mendeteksi kontour retakan pada baja. Retakan yang dipelajari adalah retakan akibat patahan yang diperiksa dengan mikroskop elektron sapuan (SEM). Segi-segi permukaan patahan tidak memberikan nilai keabuan yang homogen (gambar 15a) sehingga sulit dilakukan segmentasi dengan nilai batas ambang seperti yang umum dilakukan dengan metoda konvensional. Tahap pertama adalah menentukan penunjuk dengan teknik pembajiran geodesi, daerah-daerah minimum yang menjadi kolam-kolam penampung dijadikan penunjuk (gambar 15b). Dengan mendefinisikan kontour sebagai watershed dari variasi fungsi tingkat keabuan, maka batas-batas setiap obyek dapat didefinisikan (gambar 15c).



Gambar 15. Segmentasi Deteksi Kontour Retakan pada Baja dengan Metoda Watershed

4. Kesimpulan

Pengembangan metoda matematika morfologi sangat membantu dalam analisis dan pengenalan obyek terutama pada komputer vision dan robotik. Penerapan filter morfologi memungkinkan mengidentifikasi dan mengklasifikasi bentuk atau struktur geometri obyek yang sulit dilakukan oleh filter-filter klasik yang kita kenal selama ini. Teknik ini memungkinkan pengenalan obyek secara otomatis.

Segmentasi watershed dapat memecahkan masalah penentuan kontour citra obyek yang mempunyai sejumlah fasa dengan tingkat yang tidak homogen, yang tidak dapat pecahkan oleh metoda histogram batas ambang konvensional. Segmentasi ini dilakukan melalui dua tahap, yang pertama menentukan penunjuk dengan pembanjiran geodesi dan kedua melakukan skiz geodesi batas pengaruh untuk menentukan garis batas air. Segmentasi dengan metoda watershed dapat juga diterapkan pada citra obyek yang kompleks.

5. Daftar Pustaka

- [1] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, London: Academic Press, 1989.
- [2] J. Serra, *Image analysis and mathematical morphology, Volume 2: theoretical advances*, London: Academic Press, 1988.
- [3] M. Coster, J.L. Chermant, *Précis d'Analyse d'images*, CNRS, Paris, 1985.
- [4] S. Beucher, *Segmentation d'images et morphologie mathématique*, Doctorate thesis, Ecole des Mines de Paris, Cahiers du centre de Morphologie Mathématique, Fascicule n° 10, Fontainebleau, Juin, 1990.